



# Kongeriget Danmark

Patentansøgning nr.: PA 2002 01504

Indleveringsdag: 08. oktober 2002

Ansøger: Danfoss A/S  
(Navn og adresse) DK-6430 Nordborg

Benævnelse: Reguleringssystem til køleanlæg..

IPC: F 25 B 49/02; F 25 B 41/06

Det bekræftes herved, at vedhæftede dokumenter er sande kopier af ovennævnte patentansøgning, som den blev indleveret



**Patent- og Varemærkestyrelsen**  
Økonomi- og Erhvervsministeriet

12. september 2003

Bo Z. Tidemann

08 OKT. 2002

Patent ansøgning.

Modtaget

**Beskrivelse af anvendelsesområdet.**

Opfindelsen omfatter et reguleringssystem til styring af indsprøjtningen af kølemiddel i en fordamper på et køleanlæg, som omfatter mindst en kompressor, mindst en kondensator og en mindst en fordamper. Fordamperen køler et medie, typisk luft eller vand. Til hver fordamper er knyttet en elektronisk styrbar ekspansionsventil, en reguleringsenhed og et antal sensorer. Sensorerne registrerer udvalgte temperaturer og tryk på fordamperens indløb og udløb på henholdsvis medie og kølemiddel siden. Registrering af andre parametre er også mulig. De målte tryk og temperaturer anvendes i reguleringssystemet til regulering af indsprøjtningen af kølemiddel i fordamperen for at opretholde en stabil driftssituation med lav overhedning ud af fordamperen, dog uden at overhedningen falder til nul under nogen omstændigheder. Bilag 1 viser et eksempel på et køleanlæg.

**Beskrivelse af problemet som løses med opfindelsen.**

Ved hjælp af reguleringssystemet, som omfatter ekspansionsventil, sensorer og reguleringsenhed ønskes anlægget fastholdt i en stabil driftssituation med positiv overhedning (SH) og stabilt fordampningstryk ( $P_0$ ). Det stabile fordampningstryk sammen med lav overhedning vil sikre høj virkningsgrad på anlægget. Den positive overhedning sikrer, at der ikke føres væske fra fordamperen til kompressoren.

Reguleringssystemet skal kunne regulere anlægget ned til lav overhedning under stabile forhold.

Reguleringssystemet skal kompensere for forstyrrelser som optræder som følge af ændringer i anlæggets driftsbetingelser som f.eks. øget belastning samt ændringer i driften af andre komponenter på anlægget f. eks. trinvis ændring af kompressorkapacitet, trinvis ændring i kondenseringstryk, ændring i medietemperatur og ændring i mediemassestrøm.

Reguleringssystemet skal desuden hurtigt og effektivt regulere overhedningen ned i forbindelse med opstart af anlægget.

Både ved kompenserende af forstyrrelser og opstart skal reguleringssystemet kunne sikre at anlægget kører med positiv overhedning.

Justeringen af reguleringssystemets parametre skal kunne foretages ud fra enkle justeringsregler.

Anlæggets statiske forstærkning ( $\Delta SH/\Delta OD$ ) fra ventilens åbningsgrad (OD) til overhedningen som funktion af overhedningen (SH) stiger meget kraftigt ved lav overhedning (bilag 2). Desuden er sammenhængen mellem den statiske forstærkning og overhedningen for mange anlæg heller ikke veldefineret. Den kraftige stigningen og ubestemtheden gør det særdeles vanskeligt at opnå en stabil regulering af anlæg, hvor overhedningen er lav ( $SH < 5 K$ ).

Det opfundne reguleringssystem bygger på den erkendelse at anlæggets statiske forstærkningskarakteristik fra ventilens åbningsgrad til overhedningen som funktion af overhedningen kan deles op i to faktorer. En faktor som vedrører den statiske forstærkningskarakteristik ( $\Delta T_0/\Delta OD$ ) på ventilens åbningsgrad til fordampningstemperaturen ( $T_0$ ) som funktion af overhedningen. Denne forstærkningskarakteristik er tilnærmelsesvist stykvist lineær og veldefineret over hele overhedningsområdet, også når overhedningen er lav (se bilag 3). Den anden faktor vedrører anlæggets statiske forstærkning fra fordampningstemperaturen ( $T_0$ ) til overhedningen som funktion af overhedningen. Denne forstærkning er har de samme kendetegn, som forstærkningen fra ventilens åbningsgrad til overhedningen som funktion af overhedningen, ved lav overhedning.

Desuden udnytter opfindelsen at dynamikken i reguleringen af fordampningstrykket ( $T_0$ ) er væsentligt hurtigere end dynamikken i reguleringen af overhedningen (SH).

**Beskrivelse af opfindelsen.**

I det opfundne reguleringssystem vil der typisk være sensorer, som måler flg. anlægsparametre (se bilag 1):

- fordampningstemperatur som er mætningstemperaturen i fordamperen, der enten måles med en tryktransmitter og konverteres elektronisk til mætningstemperatur eller måles direkte med en temperatursensor på et rør i eller i forbindelse med fordamperen, som indeholder en blanding af kølemiddelgas og -væske. (benævnt  $T_0$ )
- temperaturen af kølemidlet ud af fordamperen, som måles med en temperatur sensor i termisk kontakt med kølemiddelstrømmen ud af fordamperen (benævnt  $S_2$ ).
- temperaturen af det kølede medie ud af fordamperen (benævnt  $S_4$ ).
- temperaturen af det kølede medie ind i fordamperen (benævnt  $S_3$ ).
- et mål for massestrømmen af det kølede medie, som for eksempel omdrejningshastigheden på cirkulationspumpen (benævnt  $m$ ).

Det opfundne reguleringssystem kunne også omfatte signaler, der er mål for kompressor kapaciteten (antal indkoblede trin), kondensator kapaciteten, kondensator trykket eller væsketemperaturen ved indløb til ekspansionsventilen.

I minimums sensorkonfigurationen for reguleringssystemet er der en sensor til bestemmelse af fordampningstemperaturen ( $T_0$ ) og en til bestemmelse af temperaturen ( $S_2$ ) ved udløbet af fordamperen. (se bilag 4a). Angivelsen af at sensor signalerne på bilag 4a stammer fra fordamperen betyder i denne sammenhæng kun at de er relateret til fordamperen. F.eks. kunne fordampningstemperaturen bestemmes via en tryksensor anbragt i en rørføringen et stykke fra udløbet på fordamperen. De fordamper relaterede signaler ( $T_0$ ,  $S_2$ ) føres via signalledninger tilbage til knudepunktet 1, hvor differensen ( $S_2 - T_0$ ) beregnes. Differensen er et mål for kølemidlets overhedningen, når det forlader fordamperen. Overhedningssignalet sendes videre op til knudepunktet 2, hvor differensen mellem den målte overhedning og overhedningsreferencen bestemmes. Denne differens bruges som indgangssignal til en PI regulering 4. Udgangssignalet fra PI reguleringen 4 sendes videre til knudepunktet 3 hvor det fungerer som reference for fordampningstemperatursignalet. Den målte fordampningstemperatur føres også knudepunktet 3. Differensen mellem den målte fordampningstemperatur og referencen bestemmes i knudepunktet 3 og bruges som indgangssignal til en PI regulering 5. Udgangssignalet fra PI reguleringen 5 fungerer som styresignal til ekspansionsventilen, der styre kølemiddelstrømmen ind i fordamperen. Som det fremgår af den ovenstående og af bilag 4a, så indeholder reguleringssystemet en indre og en ydre reguleringssløjfe.

Den ydre sløjfe regulerer referencen til den indre sløjfe ud fra overhedningen ( $S_2 - T_0$ ) og en reference for overhedningen. Den indre sløjfe regulerer styresignalet til ekspansionsventilen ud fra fordampningstemperaturen  $T_0$  og den reference som den får fra den ydre sløjfe. I den indre sløjfe udnyttes, at den statiske forstærkning fra ventilens åbningsgrad til fordampningstemperaturen ( $T_0$ ) som funktion af overhedningen er lineær og veldefineret og at dynamikken i reguleringen af fordampningstemperaturen er væsentligt hurtigere end den tilsvarende dynamik i reguleringen af overhedningen.

Fordelene ved reguleringssystemet er:

- Det er muligt at dimensionere den indre sløjfe, således at fordampningstrykket reguleres stabilt i hele reguleringsområdet, og samtidigt er det muligt at dimensionere en regulering i den ydre sløjfe, som kan regulere overhedning ned til et lavt niveau. Dermed opnås stabilt tryk og lav overhedning, hvilket medfører høj virkningsgrad (se bilag 5).
- Normalt forekomne forstyrrelser som varierende medietemperatur, trinvis ændring af kompressorkapacitet, trinvis ændring af kondensatorkapacitet og varierende mediemassestrømmen kræver minimal ændring af referencen til den indre sløjfe. De kompenseres fortrinvis ved regulering i den indre sløjfe. På grund af den hurtigere dynamik i den indre sløjfe bortreguleres forstyrrelser derfor hurtigt.
- Det er muligt at optimere reguleringsparametrene i den indre sløjfe ud fra en simpel opmåling af den statiske forstærkning og ved hjælp af parameterestimering (f.eks. autotuning).
- Reguleringsparametre til den ydre sløjfe er uafhængig af ventildimensionering og kan bestemmes ud fra opmåling af den statiske forstærkningskarakteristik. Reguleringsparametrene i den ydre sløjfe er i ringe grad afhængig af anlægget.

- Analyser på den indre sløjfe og ydre sløjfe viser, at den indre sløjfe kan reguleres markant hurtigere end den ydre sløjfe.
- Udfra information om medietemperaturen er det muligt at justere initialværdier af referencen til den indre sløjfe ved opstart til at være tæt på de optimale. Derved opnås en hurtig indsvingning af trykket og overhedningen. Dette vil betyde en hurtigere opnåelse af optimal virkningsgrad efter opstart.
- Implementering af MOP funktion (maximum operating pressure) er blot en begrænsning på referencen til den indre sløjfe.

#### Sammenligning med nuværende løsninger.

I US 5,782,103 er beskrevet et reguleringssystem hvor fordampningstrykket bruges som feedforward parameter. Det i '103 beskrevne system, adskiller sig fra det opfundne system, ved at der kun kompenseres for ændringer i fordampningstrykket. I det opfundne system styres fordampningstemperaturen i en lukket reguleringssløjfe.

Ulemper ved det i '103 beskrevne system, som løses med det opfundne system:

- Forstærkningsparameteren i den indre sløjfen er vanskelig at justere korrekt, fordi den også er afhængig af trinstørrelsen på kompressor anlægget.
- Justering af forstærkningsparameteren i overhedningsreguleringen er afhængig af anlæg og ventildimensionering.
- Ved ændringer i medietemperaturen kompenseres åbningsgraden i forkert retning, hvilket vil give henholdsvis under- og oversving i overhedningen. Ved f.eks. stigende medietemperaturer skal ventilåbningsgrad (reguleringssignalet) øges for at holde overhedningen konstant. Men fortegnet på forstærkningsfaktorerne i den feedforward signalet medfører faldende ventilåbningsgrad ved stigende medietemperatur og dermed et oversving i overhedningen (se bilag 6). Dette vil også være tilfældet ved det i bilag 4a viste system. Men problemet kan løses med det opfundne system ved at bruge medietemperaturerne ved indløb eller udløb på fordamperen (se nedenfor og bilag 4 b).
- Ved ændringer i mediemassestrømmen kompenseres åbningsgraden ligeledes i forkert retning, hvilket giver risiko for væskestrøm til kompressoren. Dette problem kan løses ved at bruge medietemperaturen ud af fordamperen (S4) i det opfundne reguleringssystem (se bilag 4b).
- Indregulering efter opstart vil generelt være langsommere fordi integralvirkningen i reguleringen udelukkende er på overhedningssignalet (se bilag 7).

#### Varianter af opfindelsen.

1. Reguleringen i den indre sløjfe kan udover brugen af fordampningstemperaturen  $T_0$  alene (som i reguleringssystemet vist i bilag 4 a) også ske ved at kombinere den med en eller flere af følgende parametre:
  - medietemperaturer ind i fordamperen (S3).
  - medietemperaturer ud af fordamperen (S4) (se bilag 4 b).
  - et mål for mediemassestrømmen igennem fordamperen ( $\dot{m}$ ).

Se i øvrigt bilag 9.

Bilag 8 viser hvorledes et reguleringssystem, som vist på bilag 4 b, klarer opstart med fuld fordamper og ved skift op i kompressortrin. Sammenlignes kurverne for overhedningen SH og fordampningstemperaturen  $T_0$  med de tilsvarende kurver på bilag 7, så ses at reguleringssystemet som er vist på bilag 4 b får korrigeret væsentligt hurtigere forstyrrelserne end ved det system som er beskrevet i '103.

Referencen til den ydre sløjfe kan reguleres udfra standardafvigelsen på kølemiddeltemperaturen ud af fordamperen (analogt til den metode som er beskrevet i US 6,018,959). Referencen til S2 begrænses ligeledes udfra fordampningstemperaturen for at sikre positiv overhedning (se bilag 10).

2. Ekspansionsventilen kan f.eks. være en stepmotor aktueret ventil eller af en type som er beskrevet i DE 196 47 718 og US4364238.
3. I stedet for PI regulatorer som angivet i bilagene kan andre typer regulatorer anvendes som f.eks. PID eller fuzzy logic regulatorer.
4. D virkningen i henholdsvis den indre og ydre sløjfe flyttes fra PID regulatorerne til feedback signalet.

Patent- og  
Varemærkestyrelsen

08 OKT. 2002

Modtaget

**Patentkrav:**

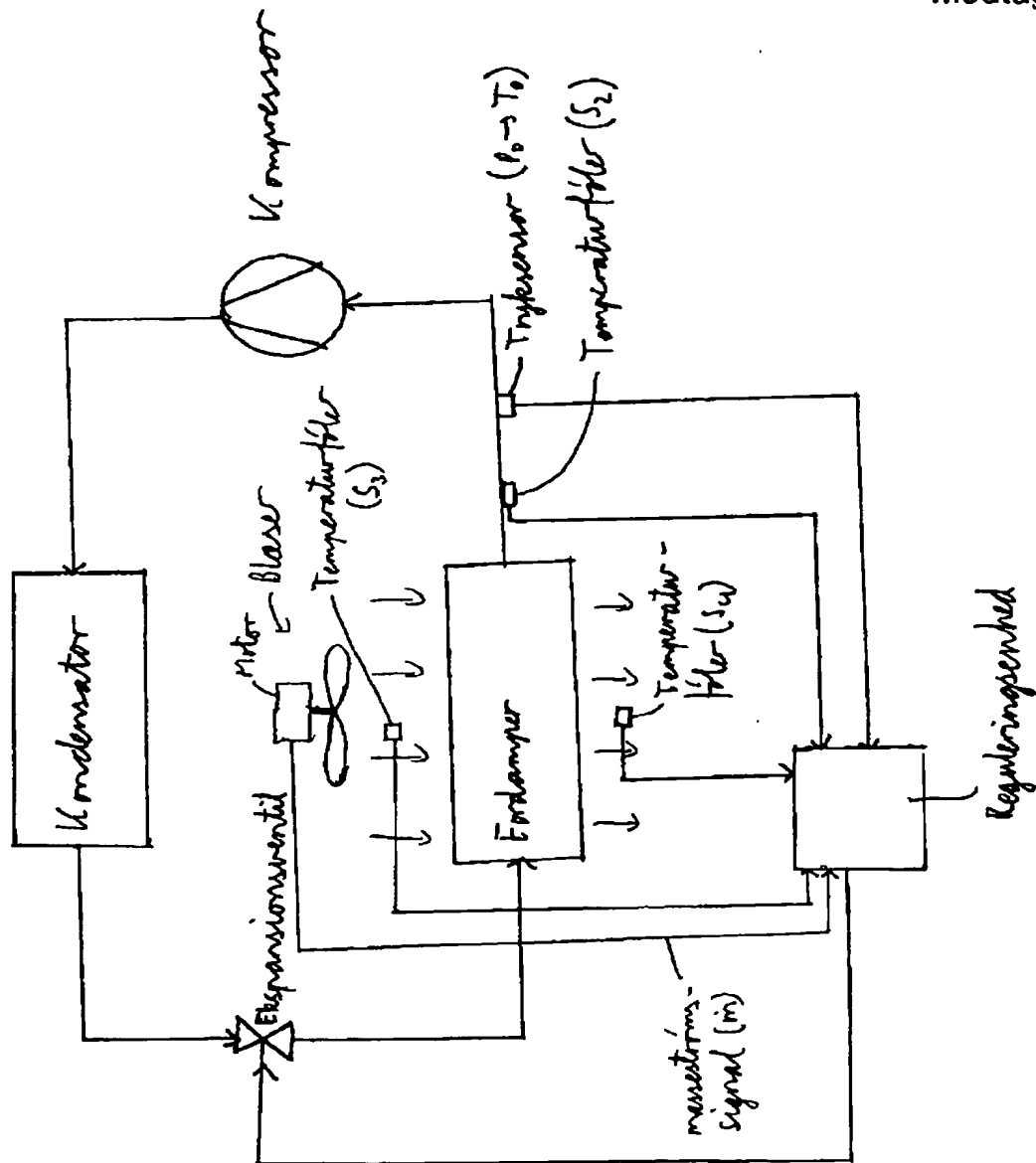
1. Reguleringsystem til styring af et køleanlæg, omfattende en kompressor, en kondensator, en ekspansionsventil og en fordampcr, kendetegnet ved at reguleringsystemet på basis af mindst en målt parameter, kan styre ekspansionsventilens åbningsgrad.

Patent- og  
Varemærkestyrelsen

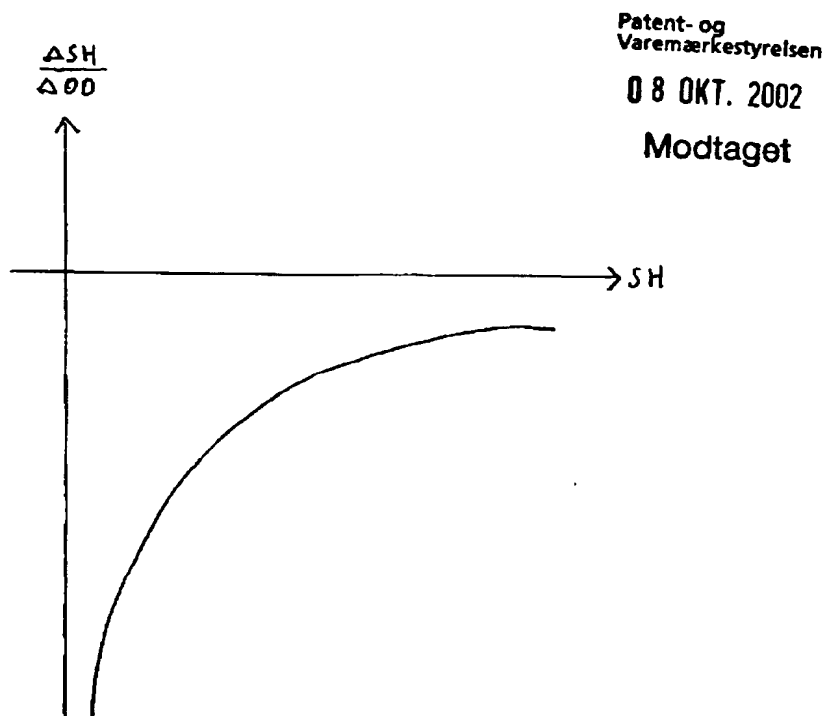
08 OKT. 2002

Modtaget

Bilag 1

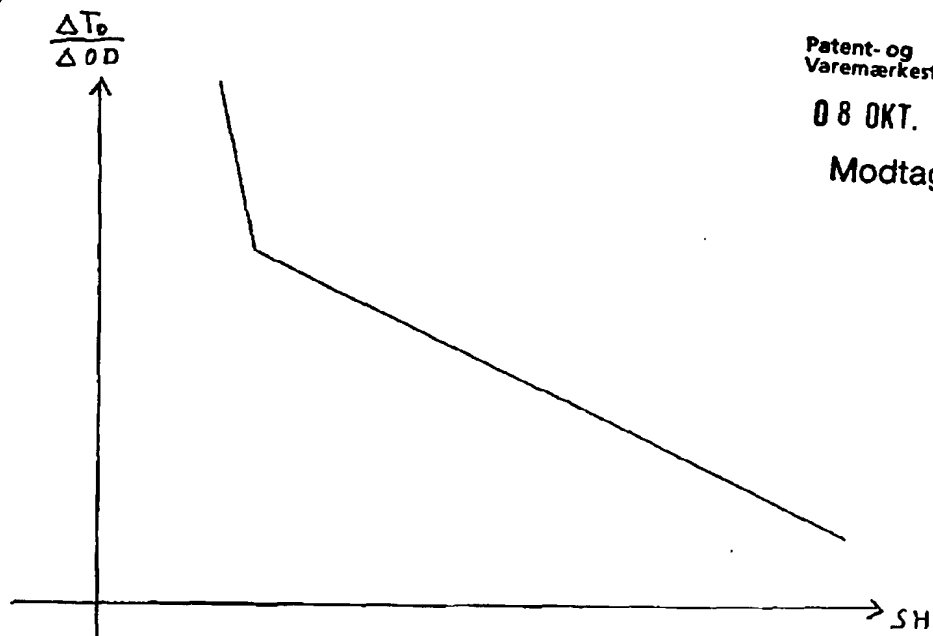


Bilag 2





Bilag 3



Patent- og  
Varemærkestyrelsen

08 OKT. 2002

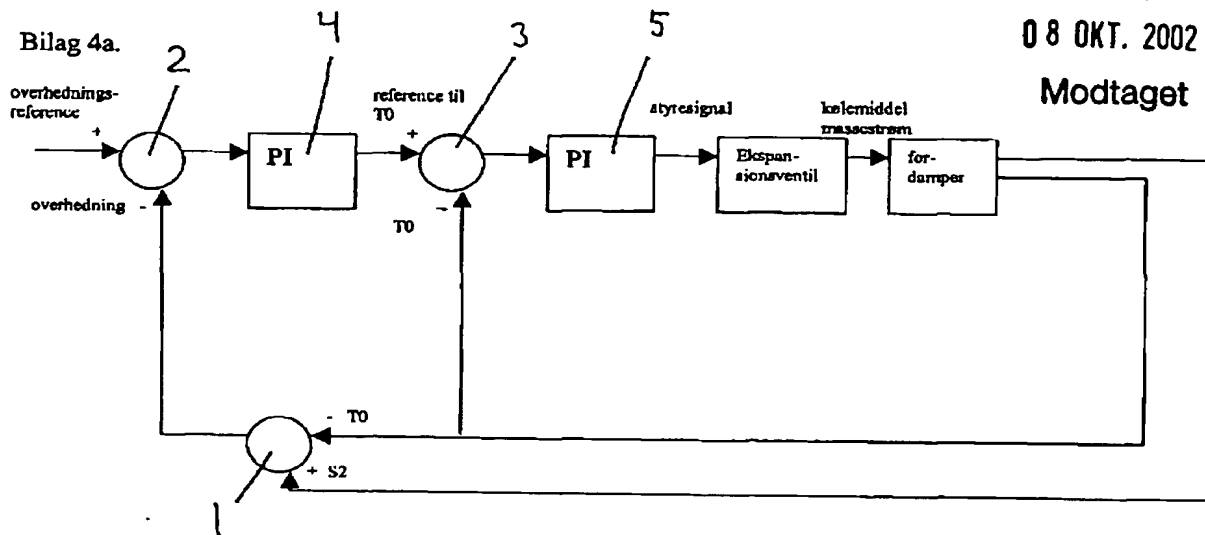
Modtaget

Patent- og  
Varemærkestyrelsen

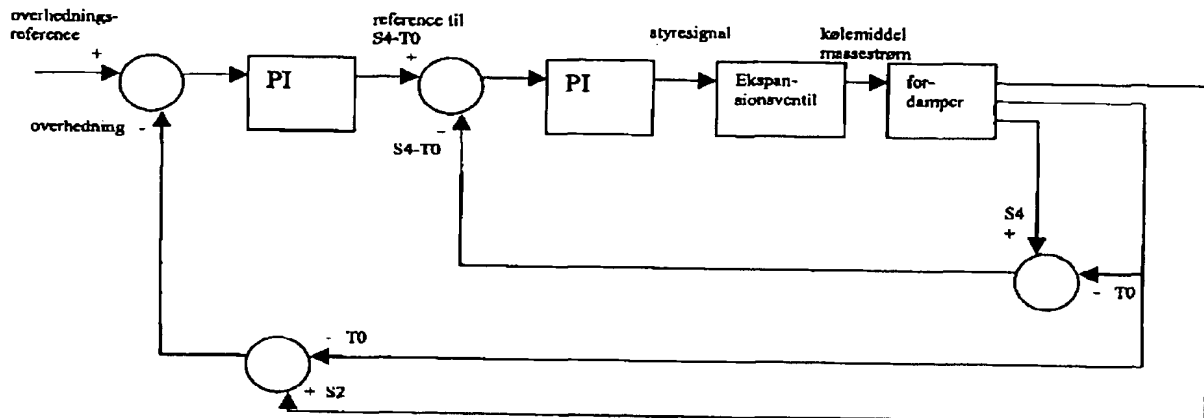
08 OKT. 2002

Modtaget

Bilag 4a.



Bilag 4b.

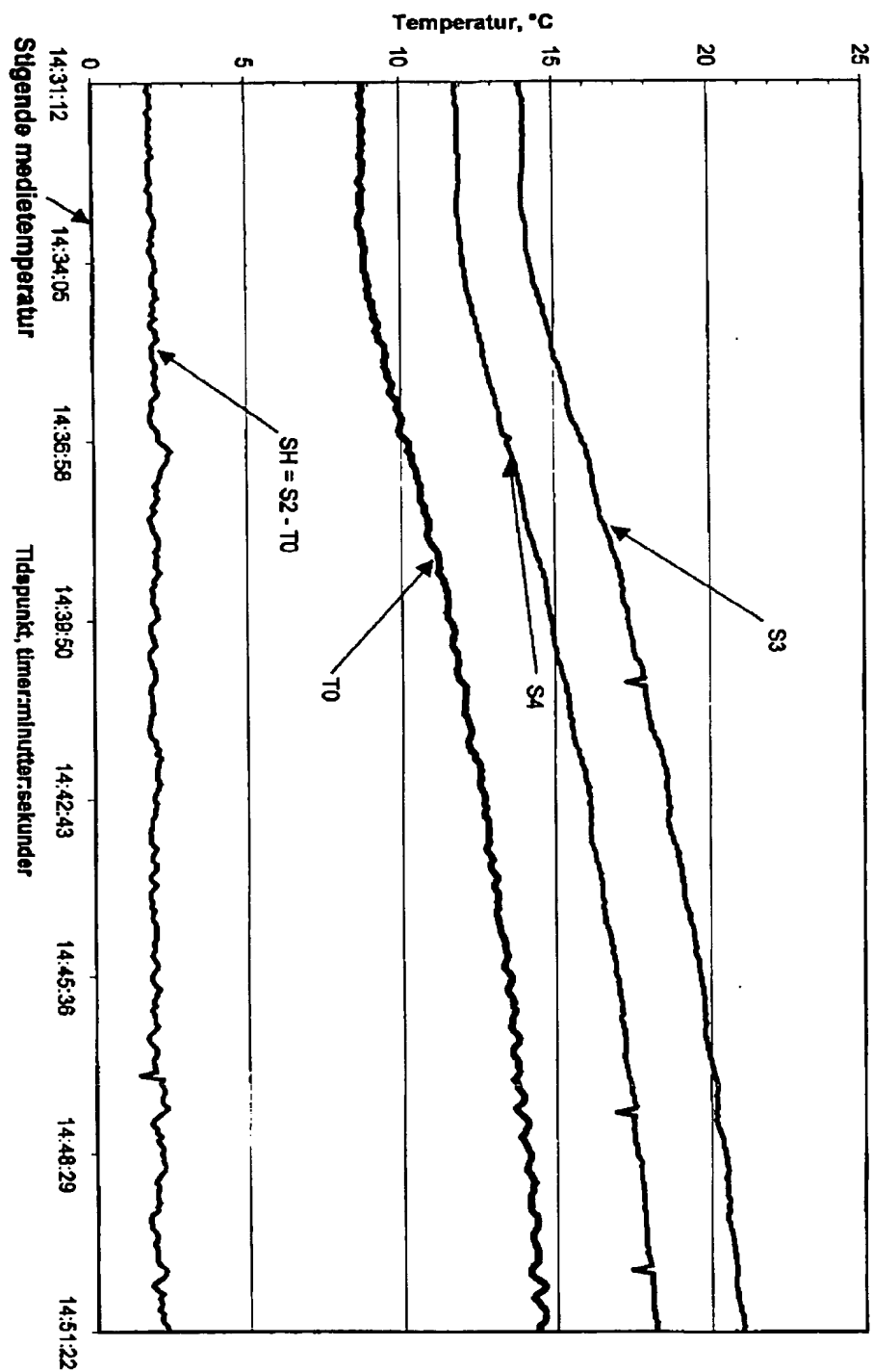


Patent- og  
Varemærkestyrelsen

08 OKT. 2002

Modtaget

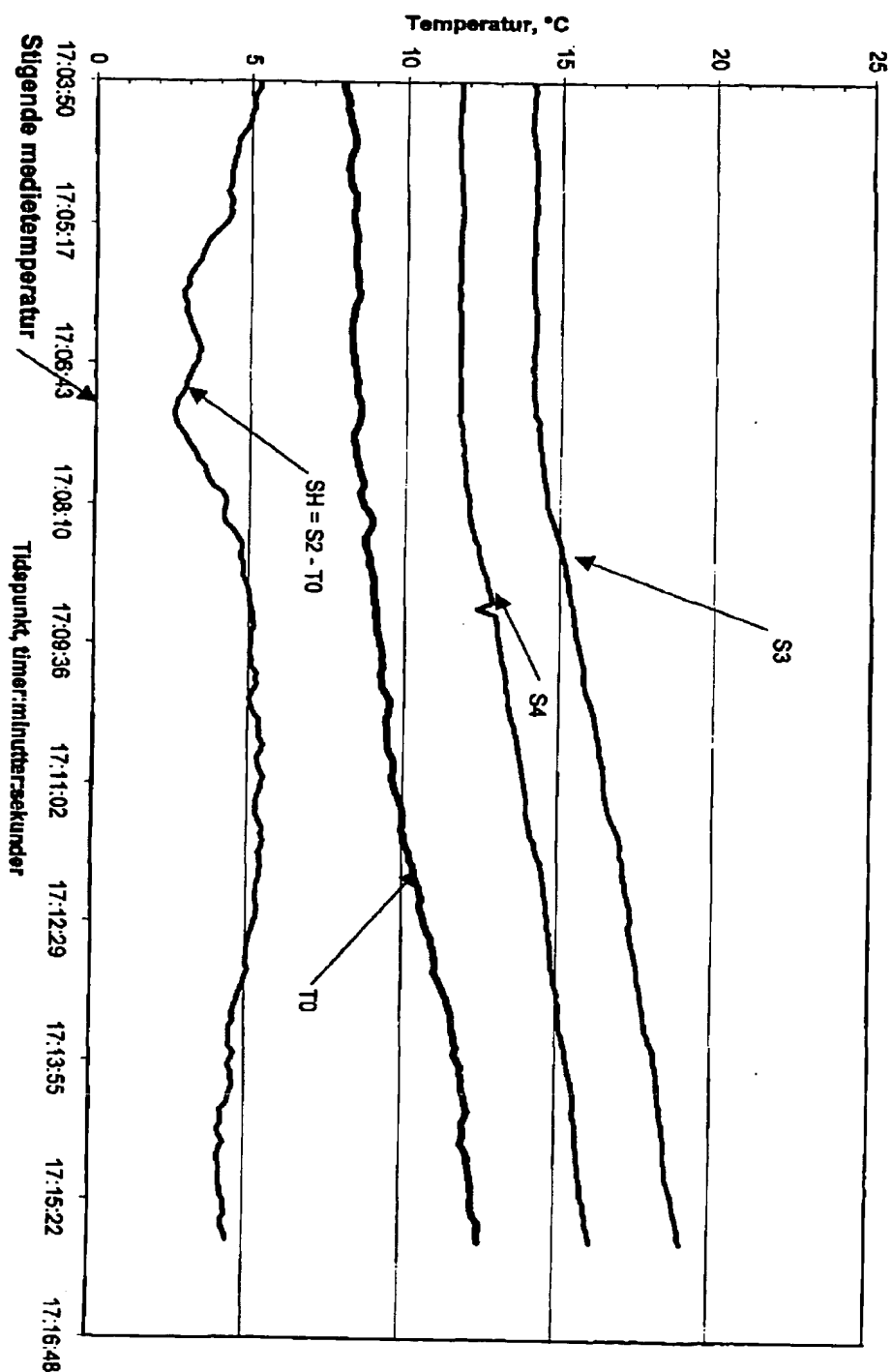
Bilag 5. Måledata fra forsøg med dobbeltsøjle regulering med T0 i indre sløjfe



Patent- og  
Varemærkestyrelsen

08 OKT. 2002

Modtaget

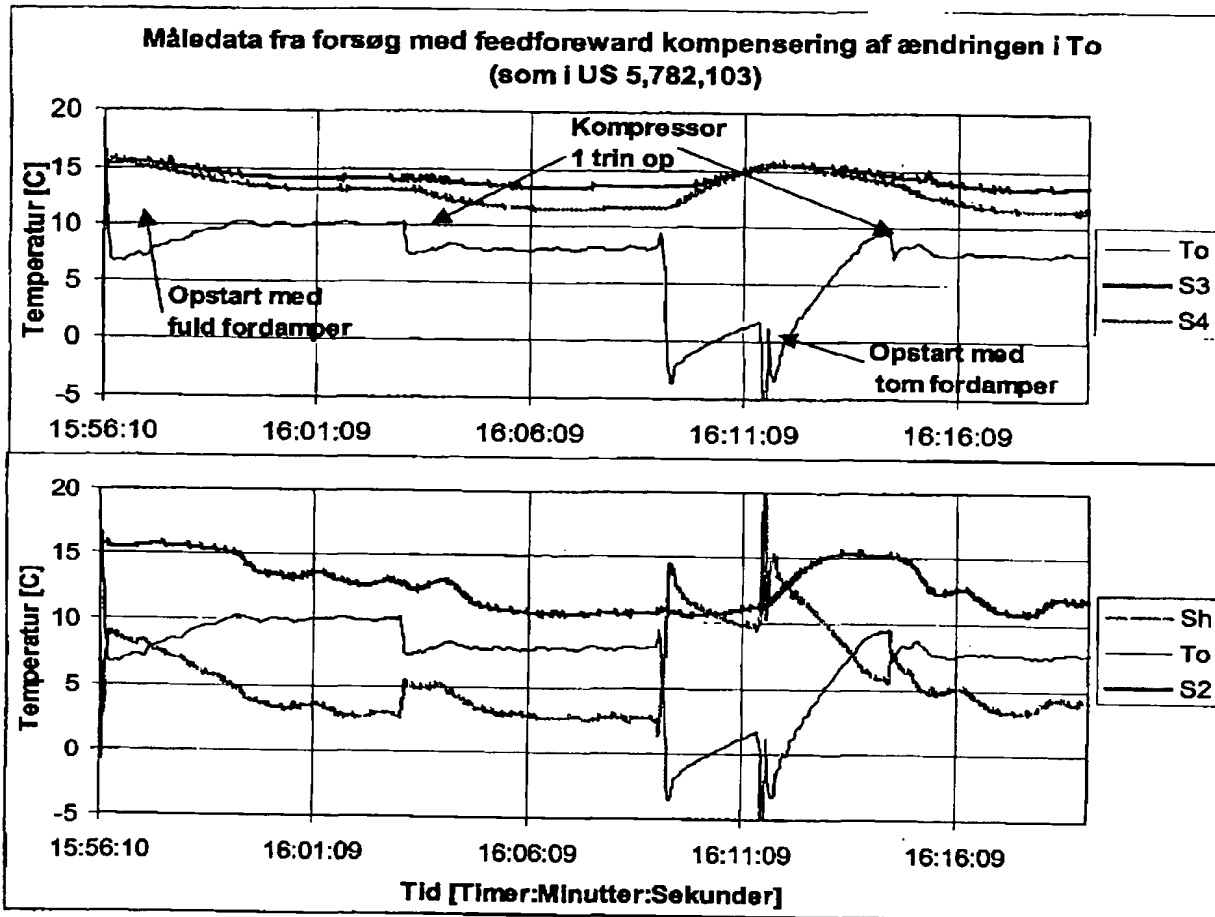
Bilag 6. Måledata fra forsøg med feed forward kompensering af ændringen i  
fordampningstemperaturen T0 - US 5.782.103

## Bilag 7

Patent- og  
Varemærkestyrelsen

08 OKT. 2002

Modtaget

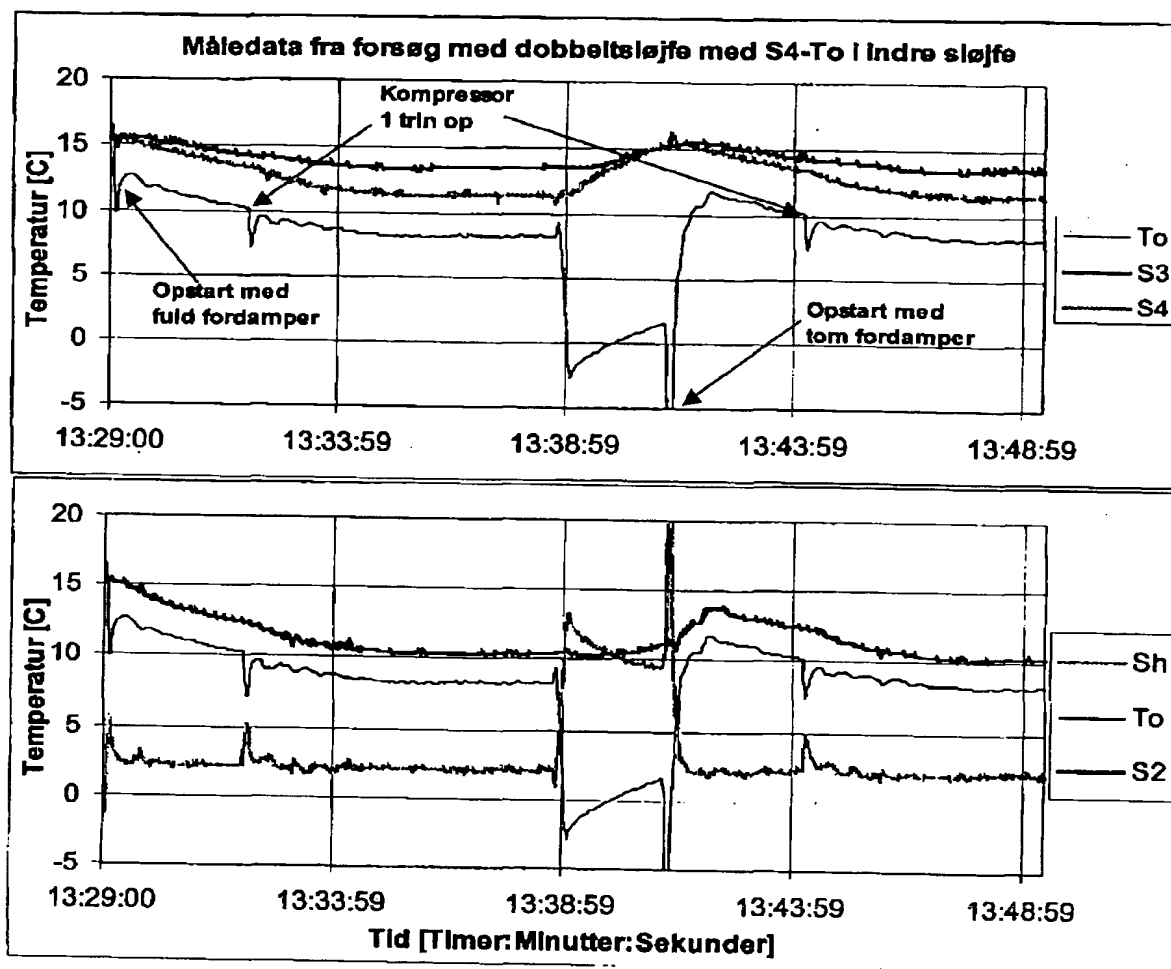


Patent- og  
Varemærkestyrelsen

08 OKT. 2002

Modtaget

## Bilag 8



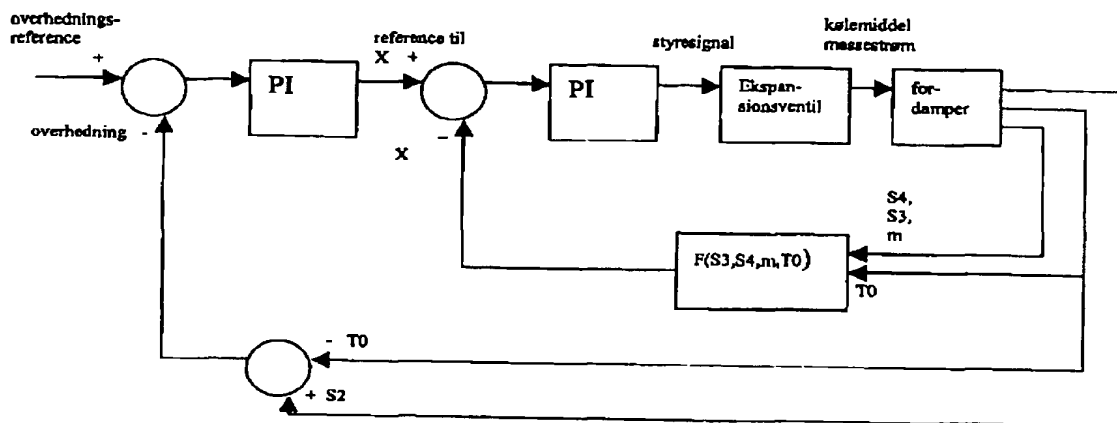
## Bilag 9.

Eksempler på funktionen F i den indre sløjfe:  
 $F(S3, S4, m, T0) = m \cdot (S3 - S4) / \ln((S3 - T0) / (S4 - T0))$ ,  
 $F(S3, S4, m, T0) = (S3 - S4) / \ln((S3 - T0) / (S4 - T0))$ ,  
 $F(S3, S4, m, T0) = -T0$ ,  
 $F(S3, S4, m, T0) = S3 - T0$ ,  
 $F(S3, S4, m, T0) = S4 - T0$

Patent- og  
Varemærkestyrelsen

08 OKT. 2002

Modtaget



08 OKT. 2002

Modtaget

Bilag 10.

